

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

First Hit



Generate Collection

Print

L10: Entry 3 of 5

File: JPAB

Jan 19, 1996

PUB-NO: JP408014550A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08014550 A

TITLE: COMBUSTION VIBRATION MONITORING DEVICE FOR FURNACE

PUBN-DATE: January 19, 1996

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

BABA, AKIRA

NOMURA, SHINICHIRO

MORITA, SHIGEKI

TSUMURA, SHUNICHI

NAKASAKI, HIDEKI

## ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

BABCOCK HITACHI KK

APPL-NO: JP06143369

APPL-DATE: June 24, 1994

INT-CL (IPC): F23 N 5/08; F22 B 37/38; F23 N 5/00

## ABSTRACT:

PURPOSE: To quickly grasp the minute signs of combustion vibration and enable the consideration of countermeasures to be taken before the vibration is amplified by a method wherein the generation of combustion vibration is estimated based on a ratio of the vibration energy of a resonance frequency of the furnace in the frequency of cross power spectrum of flame to a total vibration energy.

CONSTITUTION: The photoelectric conversion of flame in a furnace is effected by a photo sensor and the electric signal is amplified while a voltage signal of the same is converted into a relative optical strength data by an analogue divider 17 and is converted into a digital data through an A/D converter 18. These data are converted into cross-correlation function by a cross-correlation function operator 40 in time area, then, is converted into a cross-power spectrum in a frequency area by a FFT analyzer 5 and, further, an amplitude I1C in a resonance frequency F1 in this area is obtained by a vibration evaluating device 6 through peak search to operate the ratio I1C/I0C of the amplitude I1C to a total vibration energy I0C. The generation of combustion vibration is estimated based on said ratio.

COPYRIGHT: (C)1996, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-14550

(43) 公開日 平成8年(1996)1月19日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
F 2 3 N 5/08		H		
F 2 2 B 37/38				
F 2 3 N 5/00		K		

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平6-143369

(22) 出願日 平成6年(1994)6月24日

(71) 出願人 000005441

バブコック日立株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番2号

(72) 発明者 馬場 彰

広島県呉市宝町3番36号 バブコック日立株式会社呉研究所内

(72) 発明者 野村 伸一郎

広島県呉市宝町3番36号 バブコック日立株式会社呉研究所内

(72) 発明者 森田 茂樹

広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立株式会社呉工場内

(74) 代理人 弁理士 川北 武長

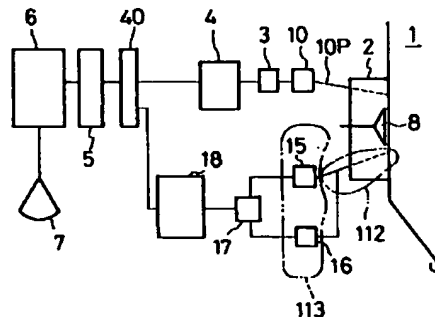
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 火炉の燃焼振動監視装置

(57) 【要約】

【目的】 多数のガスバーナを設けた火炉の試運転時、および捕集、検査後の運転再開時に発生する燃焼振動を正確に予知し、その対策を迅速に行う装置を提供する。

【構成】 多数のガスバーナ50により火炎9が形成される火炉1に、火炉内圧力検出手段10と、火炎中のOHラジカルに相当する波長 $\lambda_1$ の輝度信号とその波長に隣接し、かつ特定の化学種に相当しない参照波長 $\lambda_2$ の輝度信号を検出する輝度信号検出手段15、16、112と、両輝度信号に基づき火炎の相対輝度を算出する手段17と、圧力検出手段の検出値と火炎の相対輝度信号の時間軸についての相互相関関係を求める演算手段40と、この演算手段40の演算値をフーリエ変換してクロスパワースペクトルを求める高速フーリエ変換装置5と、このクロスパワースペクトルの周波数の火炉の共鳴周波数の振動エネルギーと全振動エネルギーとの比を求め、これにより燃焼振動の発生の有無の予測を行う振動評価装置6と、その結果を表示する表示装置7とを設ける。



- 1 : 火炉
- 2 : 風箱
- 3 : 圧力信号用増幅器
- 4 : A/D (アナログ/デジタル) 変換器
- 5 : FFT (高速フーリエ変換) アナライザ
- 6 : 振動評価装置
- 7 : 表示装置
- 8 : 保炎器
- 10 : 圧力センサ
- 10P : 圧力センサのプローブ
- 15 : 波長 $\lambda_1$ 用増幅器
- 16 : 波長 $\lambda_2$ 用増幅器
- 17 : アナログ除算器
- 18 : A/D (アナログ/デジタル) 変換器
- 40 : 相関関数演算器
- 112 : 光プローブ (採光装置)
- 113 : 光電変換装置

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のガスバーナにより火炎が形成される火炉において、当該火炉内部の圧力を検出する手段と、前記火炎中のOHラジカルに相当する波長( $\lambda_1$ )の輝度信号とその波長に隣接し、かつ特定の化学種の発光に相当しない参照波長( $\lambda_2$ )の輝度信号を検出する輝度検出手段と、上記輝度信号に基づき火炎の相対輝度信号を算出する手段と、前記圧力検出手段の検出値および火炎の相対輝度信号の時間軸についての相互相関関数を求める演算手段と、この演算手段の演算値をフーリエ変換してクロスパワースペクトルを求める高速フーリエ変換装置と、前記クロスパワースペクトルの周波数の火炉の共鳴周波数の振動エネルギーと全振動エネルギーとの比を求め、この比に基づいて燃焼振動発生の有無の予測を行なう振動評価装置とを設けたことを特徴とする火炉の燃焼振動監視装置。

【請求項2】 複数のガスバーナにより火炎が形成される火炉において、当該火炉内部の圧力を検出する手段と、前記火炎の温度を検出する温度検出手段と、前記圧力検出手段と温度検出手段の各検出値の時間軸についての相互相関関数を求める相互相関演算手段と、この演算手段の演算値をフーリエ変換してクロスパワースペクトルを求める高速フーリエ変換装置と、前記クロスパワースペクトルの周波数のうち火炉の共鳴周波数の振幅と全周波数の平均振幅の比を求め、この比に基づいて燃焼振動発生の有無の予測を行なう振動評価装置とを設けたことを特徴とする火炉の燃焼振動監視装置。

【請求項3】 請求項2において、火炎の温度検出手段をサファイア棒の先端に黒体を施したもので構成したことを特徴とする火炉の燃焼振動監視装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、火炉の燃焼振動監視装置に係り、特に事業用または産業用のガス燃料を用いた火炉の燃焼振動監視装置であって燃料負荷（バーナ負荷）変化の著しい運用をする場合においても、広範囲な安定燃焼が確保できるよう、燃焼振動を未然に防ぐための火炉の燃焼振動監視装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、油燃料の価格の不安定性から石炭焚きやガス焚きボイラの需要が急速に増加している。国内の新設発電用ボイラは年間の平均出力でみれば、昭和50年には500MW/缶であったが、平成元年には600MW/缶にもなり年々増大傾向にある。

【0003】ランニングコストが安価な石炭焚きボイラは燃料中に灰分や硫黄分を含んでいることからその後処理に大がかりな設備が必要であり、大都市の周囲にこのような発電設備を建造するのは環境問題から困難である。これに対して、ガスタービンによる発電や、その排ガスをガス焚きボイラの燃焼用空気として流用する排気

再燃サイクル発電等を含めたガス焚き発電設備は、燃料中にこのような不純物が少なく、低公害であることから今後も都市近郊で順調に伸びていくことが期待される。

【0004】さてこのようにクリーンなガス焚き発電設備であるが、このうちのガス焚きボイラにおいては、試運転時等、十分に燃焼調整が行なわれていない場合、ボイラ負荷増加時において火炉内の圧力脈動の増加現象（以後、燃焼振動と称す）を起こしやすく、炉内の伝熱管やTVカメラ等、ボイラ火炉に直接付属する構造物や機器の破損を招きやすい欠点があることが知られている。

【0005】燃焼振動現象は、一般には、（1）火炉内部の発熱率分布が火炉壁近傍で局所化する場合や（燃料の燃焼速度が大きく、バーナの出口近傍で燃え尽きる）、（2）火炎が不安定で、絶えず変動している（保炎器に付着したり、後流域に吹き飛ぶ現象を繰り返す）場合に起こりやすいとされている。従って、従来の燃焼振動抑制方法としてはガスバーナの火炎の安定性向上と急速燃焼の抑制（緩慢燃焼、すなわち長炎化）が有効であり、バーナ構造の変更等で対応していた。また火炎の不安定性が直接の原因でない場合（例えば、空気流速と燃料の噴出速度のギャップが大きく、急速に混合してバーナ近傍に高発熱領域が存在する場合）にも燃焼振動を誘発しやすいとされている。通常燃焼振動はボイラや燃焼装置の新設、または定期点検後の試運転時に起こりやすく、いずれのケースにおいても早急に営業運転に入るために、これら燃焼調整に与えられた時間は少ない。従って、一度燃焼振動現象が起こると短時間で原因究明するとともに抑制対策しなければならないために多くの人手が必要な場合がある。

【0006】そこで、燃焼振動が火炉の気柱共鳴現象であり、燃焼操作と燃焼振動とは、時間軸上でみれば、かなり遅れがあることに着目し、炉内の圧力変動を連続計測して気柱共鳴周波数の振動エネルギーと全振動エネルギーとの比率、すなわち振動発生率（ $I_1 / I_0$ 、 $I_1$ ：共鳴周波数におけるエネルギー、 $I_0$ ：全振動エネルギー）をモニタして、振動の時間的变化をトレンドして、トラブル振動を未然に防ぐ方法が試みられている（特公昭62-9845号公報）。

【0007】図7は、上記公報により提案された火炉の燃焼振動監視装置のブロック図である。図において、10はガスバーナ50の保炎器8の近辺の火炉1内圧力を連続的に検出する圧力センサ、10Pは保炎器8の近傍に挿入された圧力センサ10のプロープである。3は検出圧力を電気信号に変換して増幅する増幅器、4は増幅器3の出力信号をデジタル値に変換するA/D変換器、40はデジタル信号の時間領域における自己相関関数を求める自己相関演算器、5は自己相関演算器40からの信号をフーリエ変換する高速フーリエ変換（FFT）装置、6はFFT装置5で得られた周波数特性に基

3

ついて燃焼振動を予測する振動評価装置、7は評価の結果を表示する表示装置である。

【0008】圧力センサ10で検出された圧力は増幅器3、A/D変換器4、自己相関演算器40を経てFFT装置5に入力される。FFT装置5は入力された信号をフーリエ変換により周波数解析して図9に示すような周波数特性を得る。すなわち、図9は、圧力信号の周波数特性であり、横軸に周波数が、縦軸に振幅（振動エネルギー）がとってある。この図で $f_1$ は気柱共鳴周波数、 $I_1$ は周波数 $f_1$ の振動エネルギー、 $I_0$ は全振動エネルギーである。

【0009】振動評価装置6は、振動エネルギー $I_1$ と全振動エネルギー $I_0$ との比（ $I_1/I_0$ ）を演算してこれを燃焼振動指数とし、この燃焼振動指数を時々刻々表示装置7に表示し、監視員がこれを観察することにより燃焼振動発生の傾向を判断できるようにするとともに、当該燃焼振動指数を定められた設定値と比較し、設定値を超えたときに表示または警報を行なって、監視員が振動を防止する処置をとることができるようにしている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】例えば、発電容量600MWのボイラではバーナは24台以上設置されている。燃焼振動は、火炉との気柱共鳴現象であるので微少な圧力脈動でもエネルギーが蓄積されて大きな火炉振動に発達する可能性があることから、たとえバーナ24台中の1台が振動原因だとしても燃焼振動を誘引するに十分な起振源になり得る。

【0011】従って、微少な燃焼振動の兆候（予兆）をすばやくつかみ、振動が増幅する前になんらかの対策を施さなければならない。しかし、図7に示した従来の燃焼振動評価装置は次のような欠点をもっていた。すなわち、a) 低負荷時の圧力脈動が小さい場合においても共鳴周波数における振幅が小さいながらも存在し、かつ全周波数帯における平均振幅 $I_0$ も小さいために $I_1/I_0$ が高い値となる場合があったこと、b) バーナ点火時等、過渡的に炉内圧力が増加するような場合において、 $I_1/I_0$ が増加する傾向がみられること、およびc) 火炉の形状、炉内への投入熱量の大小で、 $I_1/I_0$ の絶対値が変わる場合があることから振動兆候をトレンドする場合において、判断を誤る場合があったこと等である。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため本願で特許請求する発明は以下のとおりである。

(1) 複数のガスバーナにより火炎が形成される火炉において、当該火炉内部の圧力を検出する手段と、前記火炎中のOHラジカルに相当する波長（ $\lambda_1$ ）の輝度信号とその波長に隣接し、かつ特定の化学種の発光に相当しない参照波長（ $\lambda_2$ ）の輝度信号を検出する輝度検出手段と、上記両輝度信号に基づき火炎の相対輝度信号を算

4

出する手段と、前記圧力検出手段の検出値および火炎の相対輝度信号の時間軸についての相互相関関数を求める演算手段と、この演算手段の演算値をフーリエ変換してクロスパワースペクトルを求める高速フーリエ変換装置と、前記クロスパワースペクトルの周波数の火炉の共鳴周波数の振動エネルギーと全振動エネルギーとの比を求め、この比に基づいて燃焼振動発生の有無の予測を行なう振動評価装置とを設けたことを特徴とする火炉の燃焼振動監視装置。

(2) 複数のガスバーナにより火炎が形成される火炉において、当該火炉内部の圧力を検出する手段と、前記火炎の温度を検出する温度検出手段と、前記圧力検出手段と温度検出手段の各検出値の時間軸についての相互相関関数を求める相互相関演算手段と、この演算手段の演算値をフーリエ変換してクロスパワースペクトルを求める高速フーリエ変換装置と、前記クロスパワースペクトルの周波数のうち火炉の共鳴周波数の振幅と全周波数の平均振幅の比を求め、この比に基づいて燃焼振動発生の有無の予測を行なう振動評価装置とを設けたことを特徴とする火炉の燃焼振動監視装置。

(3) (2)において、火炎の温度検出手段をサファイア棒の先端に黒体を施したもので構成したことを特徴とする火炉の燃焼振動監視装置。

【0013】

【作用】炉内の圧力検出手段で検出された圧力信号および火炎中のOHラジカルに相当する波長の輝度とその波長に隣接し特定化学種の発光に相当しない参考波長の輝度とを検出する手段で検出された二波長の輝度による相対輝度信号とを演算手段に入力し、時間軸についての両者の相互相関関数を求める。この値を高速フーリエ変換装置によるフーリエ変換により周波数解析し、クロスパワースペクトルを得る。このクロスパワースペクトルにおける共鳴周波数の振動エネルギーを全振動エネルギーとの比を演算し、これに基づいて燃焼振動発生の有無を予測するためのデータを算出し表示する。

【0014】次に、本発明の基本的概念につき説明する。燃焼振動の原因の一つに火炎の不安定性があげられる。火炎の不安定現象は、通常燃焼時には火炎が安定していても何等かの外乱、例えば燃焼用空気流量の変化等によって火炎が吹き飛ぶとその影響でバーナ近傍の発熱率が変化し、炉内圧力が変わる。このような火炎の不安定化の原因の一つに、燃料と空気との速度差に起因する乱れがあげられる。急速な混合は燃焼性向上には寄与するものの、火炎の変動、特に揺らぎに大きく影響することがわかっている。燃焼振動が火炎の発熱率の変動と圧力の変動とが相互に影響しあって自励振動をおこすことに着目して、これらの振動状態から燃焼振動に至る状態を評価するパラメータに有名なレーリイの判定式がある。

(文献：Combustion Driven Oscillations in Industry : Abbott A. Putnam) 次にその判定式を示す。

50

【0015】

【数1】 $Fb = \int P(t) \cdot Q(t) dt$ ここに、 $P(t)$ は、炉内の圧力変動 $Q(t)$ は発熱率変動（発熱率：全投入燃料のうち、対象場所で発熱した割合） $Fb$ は判定値である。

【0016】この式は炉内の圧力と発熱率変動の時間積分値であるが、レーリによれば、 $Fb$ が0以上であれば燃焼振動に至るとしている。さて、2つのパラメータのうち、圧力は直接計測可能であるが、発熱率は、直接計測ができないために、これを代表する火炎ガス中のOHラジカルや、バーナの空気比を表わす $C_2$ ラジカルやCHラジカル等の発光強度を光センサを用いて計測し圧力のデータと合わせた振動評価指数を計算するのが望ましい。

【0017】圧力と発熱率の同時計測においては、発熱率に相当する光の輝度の計測が難しく、長時間安定したデータを得ることができなかった。その理由として、

1) 光をセンサに導くための光学装置の汚れによる、火炎の輝度信号のレベル低下、および2) 光の信号を電圧信号に変換する際の、基準値のあいまいさ、すなわち対象の火炎の大きさにより、電圧にばらつきが生じることがあげられる。

【0018】これらの問題を解決するために大きくわけて2つの対策を考えた。そのうちの1つとして、着目波長、例えば $\lambda_1$ の発光強度を計測する場合、その発光強度をそれに隣接した波長 $\lambda_2$ の発光強度で割った値を $\lambda_1$ の発光強度とする。すなわち、参照波長を設けることによって相対値を求める。もう一つの方法として、光のデータではなく、汚れなどに比較的強い、温度のデータを使う。例えば、保炎器の近傍のガス火炎が存在する場合に温度計を取りつけて、燃焼振動が発生している場合の温度変化を発熱率に相当するデータとして使用する。これらの方法によれば、従来の燃焼振動の評価方法がもっていた欠点を補うことができる。

【0019】燃焼振動は圧力変動と、発熱率変動が相互に影響しあう自励振動である。これらのフィードバックループの間には化学反応、流動、伝熱が複雑にからまっている。図8は、代表的な燃焼振動のパターンを示す図である。これらは燃焼振動に発達するか否かを模式的に表現したものである。時間軸上の実線は圧力を示し、破線は発熱率変動を表わす。図中上部のモードは、圧力と発熱率が同じ位相で変動し、かつ振幅が大きい場合を表わしている。この場合においては、燃焼振動に発達する。図の中部のモードは、圧力と発熱率が大きな振幅で変動するものの逆位相で変動する場合である。この場合においては、レーリの判定値が負になるために振動しない。図中下部のモードは、圧力振幅は大きく振れるものの、発熱率の変動が小さい場合を表わす。この場合も振動には発達しにくい。中部と下部のモードは、実機ボイ

ラにおいては、バーナ点火時や消火時等に過渡的な状態で見られる。これらの時間軸上での変化過程から燃焼振動を正確に把握するのは難しいが、これら圧力と発熱率の情報を周波数領域に変換すると正確な評価ができるようになる。

【0020】図10は、従来の炉内における圧力のみの変化から燃焼振動評価指数 $I_1/I_0$ を求める方法と、本願発明における圧力と火炎の発光スペクトルから燃焼振動評価指数 $R$ をもとめる方法の概念について示した図である。いずれの方法も、時間軸上では、変動が著しいために周波数領域でデータの加工（平均化処理）を行なう。燃焼振動が発生した場合には、火炉の共鳴周波数に一致した周波数での圧力脈動が発生するとともに、同周波数での火炎の輝度の変動もみられる。特に、OHラジカルの発光強度に大きな変化がみられ、圧力と火炎輝度との振動波形の位相角度 $\theta$ は、圧力や、輝度の変動振幅が小さい場合には、ランダムであったものが、0に近づいてくる特徴を有している。すなわち圧力と発熱率が同位相で変動する。

【0021】これらの特性から、2つの信号の相互関連性解析する際に用いられるクロスパワースペクトラムを用いれば燃焼振動の予兆評価に有効であることが推測された。火炉内部の圧力と火炎の輝度を同時に計測して、これらの時間変化から相互相関関数を計算し、それらをさらにFFT（Fast Fourier Transformation：高速フーリエ変換）してクロスパワースペクトルを求め、さらにこのスペクトラムのうち、火炉の共鳴周波数をピークサーチして、その変動エネルギーを求める。この値を $I_{1c}$ とする。さらに全振動エネルギー $I_{0c}$ を相互相関関数の遅れ時間0の値か、周波数領域で、クロスパワースペクトラムの全周波数帯における積分値から求め、その共鳴エネルギーと全振動エネルギーとの比率を $I_{1c}/I_{0c}$ で表わす方法を考案した。さらに、高精度化を計るために共鳴状態に位相角度が小さくなる特性を考慮して圧力と火炎の輝度との位相角（遅れ時間） $\theta$ を $I_{1c}/I_{0c}$ に乘じた関数； $I_{1c}/I_{0c} \cdot \cos(\theta)$ の時間変化から振動兆候を探る方法も考えた。

【0022】さて火炎からの輝度信号を計測解析する場合、1波長にのみ着目した方法と比較して2波長選択の優位性について図11を用いて説明する。図11には、火炎輝度を光学装置を用いて電気信号に変換した場合、その時間軸上におけるデータと、同じデータを周波数領域に変換したものについての概念図を示した。

【0023】図中（A）は光学装置を設置した直後に得られた火炎輝度の時間変化を示す。なお（B）は、経時的に光学装置のうち特に火炎への対物レンズがススなどで汚れた場合、火炎から得られる輝度信号を示した。この図に示すように装置が新しく設置した直後の状態においては、燃焼振動が発生した場合に大きな振幅が観測されるが、経時的にそのレベルが低下する現象が見られ

7

る。この原因は、燃焼ガスがレンズに接触して、汚れることが直接の原因であり、シーリング空気でレンズを保護する方法が通常施されるが、十分ではないのが現状である。また、バーナの負荷によっても火炎から得られる光強度に差が生じるために、本振動予兆評価システムの

【0024】そこで、火炎の状態が多少異なっても、一定の輝度信号が得られるように、1波長計測方法に加えて、2波長方式を採用した。この方法を図12に示した。図中(a)は装置設置直後の汚れが少ない場合の、火炎の発光スペクトルである。図中横軸は波長、縦軸は発光強度である。ここに $\lambda_1$ にはOHラジカルの発光強度を示し、 $\lambda_2$ には特定の化学種の発光スペクトルが存在しない波長の強度を示す。

【0025】光学装置が汚れた場合には、図中(b)のように波長選択性がなく、一様に輝度レベルが低下する傾向になり、光センサを通して得られる情報量が少なくなる。装置設置直後の汚れが少ない場合におけるOHラジカルの発光強度を $I_{\lambda_1}$ 、参照波長における発光強度を $I_{\lambda_2}$ 、経時変化して、汚れがレンズに付着した場合のOHラジカルの発光強度を $\cdot I_{\lambda_1}$ 、参照波長における発光強度を $\cdot I_{\lambda_2}$ とした場合、 $I_{\lambda_1} > \cdot I_{\lambda_1}$ 、 $I_{\lambda_2} > \cdot I_{\lambda_2}$ となり、信号レベルの低下は免れないが、相対値としての輝度信号は汚れにかかわらず一定である。すなわち $I_{\lambda_1} / I_{\lambda_2} = \cdot I_{\lambda_1} / \cdot I_{\lambda_2}$ となりレンズの汚れや、輝度の絶対値の大小に影響を受けない。

【0026】

【実施例】以下、本発明の具体的実施例につき説明する。図6は、ガス燃焼用空気供給装置の系統図を示すものである。主燃料であるLNGは、受け入れ基地のLNG貯蔵タンク67からパイプラインで火力発電所にまで送られる。所内でベーパーライザ(気化器)66によりガス化して、流量調整弁65で圧力調整した後に各バーナ50に供給する。通常バーナ入口のガス圧は最大負荷時において1atgから3atgの範囲に設定されるが、特にこれといった圧力の規制値はない。しかし、燃焼振動抑制からは、火炉内の圧力脈動が燃料側にフィードバックしにくいように、できるだけバーナ入り口圧力を高くした方がよい。ただし、1atgを越えるとノズル出口部においてガス流速は音速に達し火炉の圧力脈動が燃料の圧力変動に直接影響するとは考えにくいので、それほど燃焼振動抑制効果はないと考えられている。

【0027】一方、燃焼用空気はFDF(押し込み通風器)60で加圧した後、空気予熱器69で約330℃まで昇温した後、火炉の各バーナ段に設けた風箱2に供給される。各バーナ段に供給される空気は風箱入口に設けたダンパ(空気流量調節装置)68で流量調整される。

8

その後各バーナに送られ、旋回がかけられた後炉内に供給される。

【0028】代表的なガスバーナの構造断面図を図5に示した。図中に本発明になるところの燃焼振動検出装置としてサファイア式温度計(52、53)を実際に挿入した場合の状態も表示したが、その内容については後で説明する。従って、ここでは、既設ガスバーナ50の構造について説明する。燃焼用空気はバーナ中心部から半径方向の3流路に分割して炉内に供給される。このうち2次空気59は軸流旋回器(2次ベン)56で旋回させ、3次空気58は図示しないエアレジスタによって旋回がかけられる。

【0029】一方ガス燃料は、ガスノズル57から炉内へ、ほぼ亜音速で噴出され保炎器8後方に火炎9が形成される。燃焼用空気の旋回効果により、バーナ後方には大きな循環領域が形成され、ガス燃料の着火安定性に貢献するが、しかしバーナ負荷が変化したり、 $\text{NO}_x$ 低減や火炉での熱吸収をコントロールするために、ボイラ排ガスを燃焼用空気に混入する場合においては、バーナスロート部分511における流速が増加するために火炎の吹き飛びおよび付着現象がみられ、これが原因で燃焼振動を引き起こす場合がある。

【0030】図1には、本発明になるところの、振動予兆評価システムをバーナに取りつけた例を示した。燃焼振動は、火炉に設置した30本を越すバーナ群のうちの1本でも振動を引き起こす条件にあれば火炉全体の燃焼振動に至ることから、全数バーナに取り付け、各々のバーナの燃焼状態を監視するのが望ましい。ただし、火炉の振動レベルが厳しいのは、最下段バーナ位置であることと火炉の燃焼振動が、幅、奥行、高さのx、y、z方向のモードでおこる可能性を有していることから、最下段のコーナ部分のバーナを中心にバーナパネルの反対側バーナ、高さ方向として最上段バーナ、奥行方向として対向のバーナの計4個所に圧力、光センサを取り付けるのが最も効率がよいと考えられる。この取付位置を図13に示す。

【0031】本願発明者の検討によれば、燃焼炉における発熱率変動を最もよく示すものとしては、火炎中のOHラジカルの発光強度があげられる。火炎中の発光ラジカル成分としては $\text{C}_2$ ラジカル、CHラジカルがあり、可視領域に属し採光し易いが、これらは主として燃焼用空気と燃料の空燃比の状態を表わすものであり、発熱率変動をとらえるものとしてはOHラジカルが最もすぐれていることがわかった。ただし、OHラジカルは紫外域に属するので、その採光には特別の工夫が必要であり、その内容は図2により後述する。

【0032】図1において、バーナは火炉1のうち水壁に取りつけられ風箱2にマウントされる。本図ではガス燃料の供給装置は省略したがバーナの先端には保炎器8が構成され、その後方に保炎器8による燃焼用空気の逆

流領域が形成されることから、ガス火炎は、この領域で着火安定化する。バーナ近傍の火炉の気柱共鳴が原因で発生する圧力の変動または規則的な脈動は圧力センサ10でとらえられ増幅装置（ストレインアンプ）3で電気信号に変えられ、A/D変換器4でデジタルデータに焼き直される。一方火炎の輝度は採光装置（光プローブ）112で効率よく受けとめられる。

【0033】この採光装置の具体的な構造を図2に示した。レンズの構成は、対象とする火炎の位置や形状で異なるが、考え方のみを図2を用いて説明する。火炎からの光は対物レンズ（ここでは、できるだけ多くの光量を得るために凹レンズを使用している）で平行光線として伝送され、リレーレンズで絞込まれる。さらに接眼レンズでファイバの入光部分の径に合致するような、平行な光として調整され、石英の2分岐ファイバに送り込まれる。2分岐にした理由は、2波長各々の光センサへできるだけ多くの光を導入するためである。レンズおよびファイバは、そこでの紫外線の吸収をできるだけ抑制するために、材質は石英とする。この採光装置は、比較的高温（約300度）にさらされるために、空気で冷却した構造とした。この採光装置は、図1では112で表示されている。さて、2分岐した光は、光ファイバで伝送され、光/電変換器113に送られる。この部分は図1では波長 $\lambda_1$ 用増幅器と波長 $\lambda_2$ 用増幅器で構成されるが、詳しくは図3にその構造を示した。図1で示す増幅器は、図3で示す干渉フィルタ、光センサ（フォトマル：光電子増倍管）、アンプ内蔵ソケット、高電圧電源で構成される。これらは、 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ 用の2セット用意されている。干渉フィルタで特定の波長の光だけを透過して、光センサで光電変換され、さらにアンプで微弱な電気信号を増幅する。図1に戻るが、これらの電圧信号はアナログ除算器17で、相対光強度データ（電圧信号）として変換され、そして圧力の信号と同じくA/D変換器18でデジタルデータに焼き直される。

【0034】ここで、アナログ除算器を用いた理由は、時間変動のデータを扱う場合にアナログの方がデータのサンプリング時間などを考慮しなくてよく、周波数解析を行なう場合容易であるからである。もちろん全てデジタルデータとして処理することも可能である。これらのデータは相互相関演算器40により時間領域で、相互相関関数に変換され、さらにFFTアナライザ5で周波数領域のクロスパワースペクトラムに変換される。さらに振動評価装置6によりこの領域で、共鳴周波数 $f_1$ における振幅 $I_{1c}$ をピークサーチで求め、全振動エネルギー $I_{0c}$ との比率 $I_{1c}/I_{0c}$ を計算する。 $I_{0c}$ は、相互相関関数の時間遅れ0の値を採用してもよい。

【0035】さて、振動評価指数は、図8の中図の状態を燃焼振動に到らないと評価するために位相の項を追加しなければならない。共鳴周波数すなわち最大振幅を示す周波数 $f_1$ における位相角 $\theta_1$ を求めて振動評価指数

を $I_{1c}/I_{0c} \times \cos(\theta_1)$ とする。図4には、光センサの代わりにサファイアロッドの先端に黒体センサを施した放射温度計を用いた例を示す。

【0036】光センサをバーナに挿入するのは、予算的にも、スペース的にも困難な場合が多い、従って、温度計を火炎が変動する場所に挿入して発熱量に代わる温度変動を取り出して、圧力とともに取り込めば、比較的安易に燃焼振動の監視が可能となる。ただし、熱電対式の温度計は、火炎温度が2000度近くになることから使用できない。白金を用いた熱電対でかろうじて計れる場合があるが、火炎の変動が実規模のバーナおよび火炉の組み合わせで、約30Hzと温度変動としては、比較的早いために、温度計の時定数を短くする、すなわち熱電対を細くしなければならず、寿命が極めて短いためにやはり使用できない。そこで近年開発された、サファイア式温度計をこの温度センサとして使用することを考えた。サファイアは、2000度以上の温度に長時間耐えるし、100Hz程度の温度変動を計測できることから、燃焼振動の計測に適していると考ええる。

【0037】計測系統は、火炎の輝度変動と炉内の圧力変動を同時に計測する場合の計測系統とほぼ同じであり、光の解析部分を温度の解析部分に置き直しただけである。図5にサファイア式温度計をガスバーナに取りつけた場合の位置について示した。この図は、ガスバーナの断面図を示している。燃料のガスはガスノズル57から、炉内に向けて噴出され、燃焼用の1次空気510、2次空気59、3次空気58と混合して燃焼する。この際に燃料は、保炎器8の後方で着火し、火炎9を形成する。燃焼振動が発生した場合に、高速度ビデオで火炎の変動を観察した結果、着火位置が炉の共鳴周波数と一致してバーナ幅方向にゆらいでいるのが観測された。従って保炎器55の近くに温度計を挿入すれば、この近傍における発熱変動を温度変動としてとらえることができる。もちろん発熱変動そのものではなく、物理的な意味あいでは、火炎中OHラジカルの発行強度のほうがよいが、簡易的に安価に振動を予兆するだけであれば十分と考える。挿入位置として、保炎器近傍であれば、温度計が高温にさらされている箇所が少なく、その寿命からも好ましいと考える。

【0038】

【発明の効果】本発明の燃焼振動評価アルゴリズムを組み込んだ火炉の燃焼振動監視装置を用いれば、試運転時における燃焼調整に要する時間の大幅な短縮が計られることになり、設計および調整に要する経費の大幅な節約が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明になる火炉の燃焼振動監視装置の系統図。

【図2】図1の装置の光プローブ（採光装置）の断面図。



11

【図3】光/電変換装置の構造図。

【図4】光センサの代わりとして、サファイア温度計を取り付けた場合の実施例系統図。

【図5】光センサの代わりとして、サファイア温度計を取り付けた場合のバーナ断面図とバーナ近傍における設置状況を示す図。

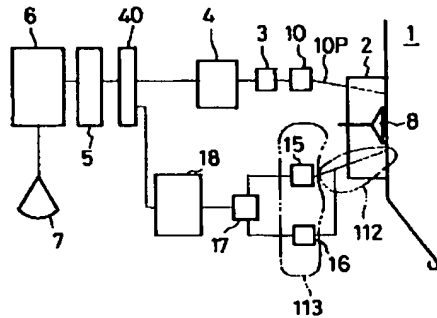
【図6】ガス焚きボイラにおける燃焼系統概要図。

【図7】従来の燃焼振動評価装置の系統図。

【図8】燃焼振動の概念を、圧力変動と発熱変動との相互関係で示した図。

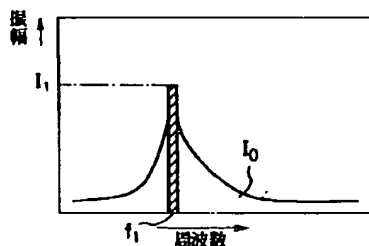
【図9】従来の燃焼振動評価指数  $I_1 / I_0$  の計算方法の説明図。【図10】本発明になる振動評価指数  $I_{1c} / I_{0c}$  と従来の燃焼振動評価指数  $I_1 / I_0$  との計算手順概要図。

【図1】



- 1: 火炉  
2: 風箱  
3: 圧力信号増幅器  
4: A/D (アナログ/デジタル) 変換器  
5: FFT (高速フーリエ変換) アナライザ  
6: 振動評価装置  
7: 表示装置  
8: 保炎器  
10: 圧力センサ  
10P: 圧力センサのプロープ  
15: 波長 $\lambda_1$ 用増幅器  
16: 波長 $\lambda_2$ 用増幅器  
17: アナログ除算器  
18: A/D (アナログ/デジタル) 変換器  
40: 相関関数演算器  
112: 光プローブ (採光装置)  
113: 光電変換装置

【図9】



12

【図11】光センサによる計測時に光学系統のよごれ等が原因で発生する信号レベルの低下現象を示す図。

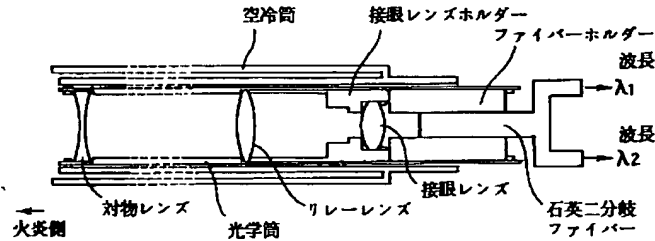
【図12】2波長計測による計測例を示す図。

【図13】本発明における光センサの取付要領を示す図。

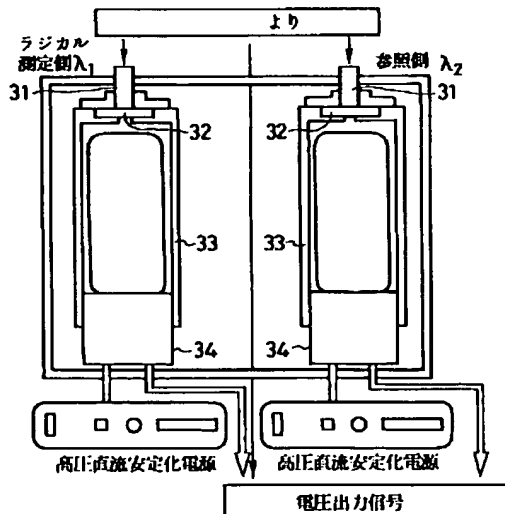
【符号の説明】

- 1...火炉、2...風箱、3...増幅器、4...A/D変換器、5...高速フーリエ変換装置 (FFTアナライザ)、6...振動評価装置、7...表示装置、8...保炎器、9...火炎、10...圧力センサ、10P...圧力センサプロープ、15...波長 $\lambda_1$ 用増幅器、16...波長 $\lambda_2$ 用増幅器、17...アナログ除算器、18...A/D変換器、40...相関関数演算器、112...光プローブ (採光装置)、113...光電変換装置。

【図2】

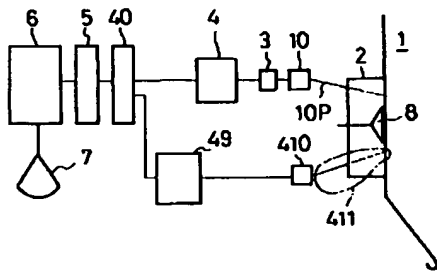


【図3】



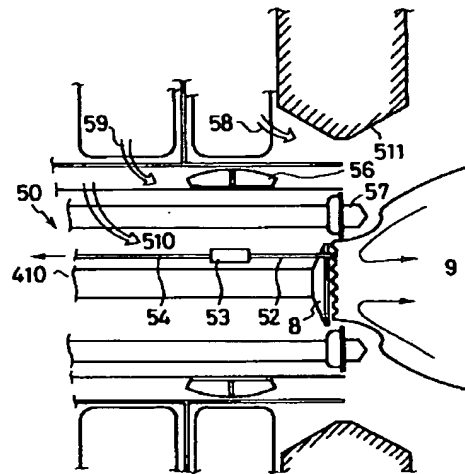
- 31: 石英二分歧ファイバ  
32: 干渉フィルタ  
33: 光センサ  
34: アンプ内蔵ソケット

【図4】



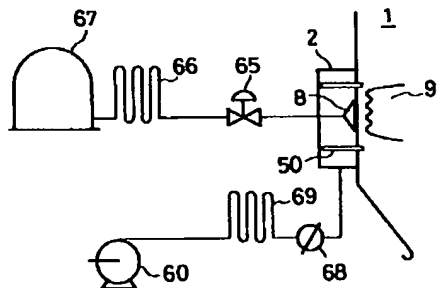
- 1: 火炉
- 2: 風箱
- 3: 圧力信号用増幅器
- 4: A/D (アナログ/デジタル) 変換器
- 5: FFTアナライザ
- 6: 演算装置
- 7: 表示装置
- 8: 保炎器
- 10: 圧力センサ
- 10P: 圧力センサのプロープ
- 40: 自己相関演算器
- 49: A/D変換器
- 410: サファイア温度計解析部
- 411: サファイア温度計センサ部分及び導光

【図5】



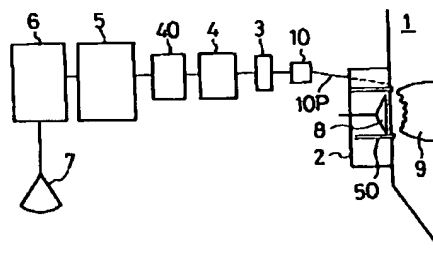
- 8: 保炎器
- 9: ガス火炎
- 50: バーナ
- 52: サファイア黒体センサ
- 53: コネクタ
- 54: 光ファイバ
- 56: 2次ベーン
- 57: ガスノズル
- 58: 3次空気
- 59: 2次空気
- 510: 1次空気
- 511: バーナスロード

【図6】



- 1: 火炉
- 2: 風箱
- 8: 保炎器
- 9: 火炎
- 50: バーナ
- 60: FDF (押し込み送風機)
- 65: 燃料流量制御装置
- 66: 気化器
- 67: 燃料貯蔵タンク
- 68: 空気流量調整装置
- 69: 空気予熱器

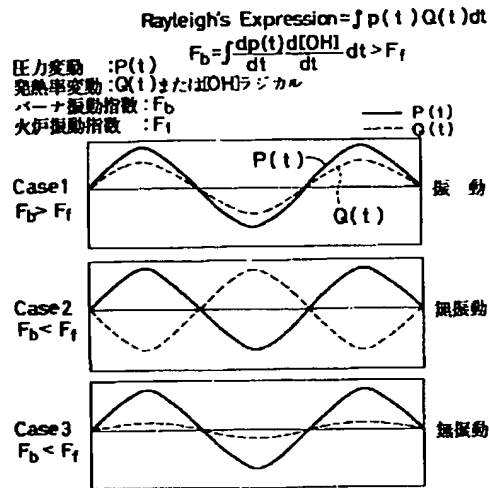
【図7】



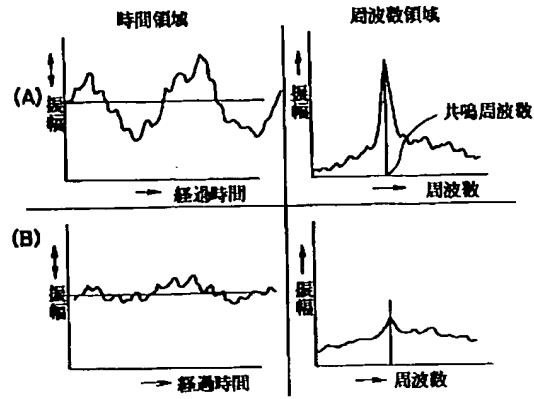
- 1: 火炉
- 2: 風箱
- 3: 増幅器 (アンプ)
- 4: A/D (アナログ/デジタル) 変換器
- 5: FFTアナライザ
- 6: 演算評価装置
- 7: 表示装置
- 8: 保炎器
- 9: 火炎
- 10: 圧力センサ
- 10P: 圧力センサのプロープ
- 40: 自己相関演算器
- 50: ガスバーナ

【図8】

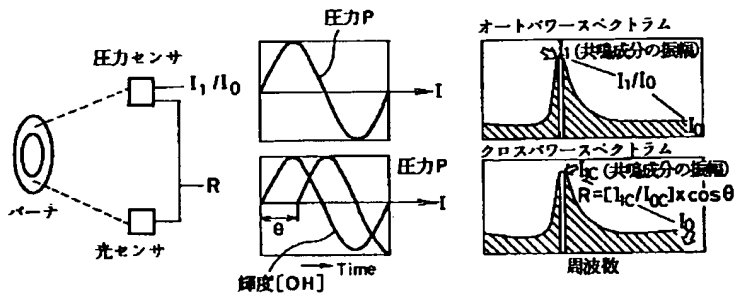
振動判定方法 (レーリーの振動条件)



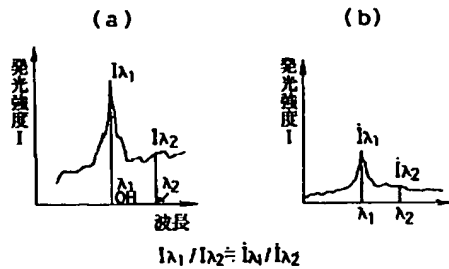
【図11】



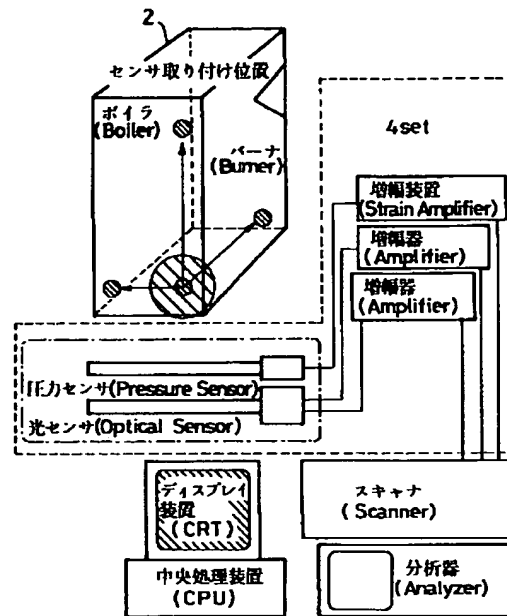
【図10】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 津村 俊一  
 広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立  
 株式会社呉工場内

(72)発明者 中崎 秀樹  
 広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立  
 株式会社呉工場内